

0-792984

На правах рукописи



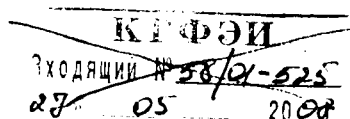
Чистова Марина Валерьевна

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТЬЮ
РЕГИОНАЛЬНОГО РЫНКА ТРУДА**

**Специальность 08.00.13 – Математические и инструментальные
методы экономики**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук**

Санкт-Петербург - 2008



Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ставропольский государственный университет»

Научный руководитель - доктор экономических наук, профессор
Торопцев Евгений Львович

Официальные доктор технических наук, профессор
оппоненты: **Трофимов Валерий Владимирович**
доктор экономических наук, профессор
Недосекин Алексей Олегович

Ведущая организация - Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики»

дис
об
С
фи

С
обр
«С
фи

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000690347

ии
ом
ия
и
—
го
ия
и

Уч

диссертационного совета

Завгородняя

Завгородняя А.В.

Актуальность темы исследования. Как в современной, так и в классической экономической науке большое внимание уделяется проблемам экономической динамики и устойчивости целевых рынков. Здесь сосредоточены многочисленные теории экономического роста, циклов деловой активности, включающие вопросы разработки и проведения мероприятий по обеспечению статической устойчивости функционирования сложных экономических систем в части сохранения приемлемых темпов экономического роста и демпфирования низкочастотных конъюнктурных колебаний, генерируемых совокупностью произвольных экономических факторов. При этом особо следует отметить, что для выбора рациональных решений по управлению динамическими свойствами сложных социально-экономических систем, в которых натурное экспериментирование по многим обстоятельствам социально-политического, теоретического и прикладного плана резко ограничено, а подчас и просто невозможно, разумной альтернативы экономико-математическому моделированию и вычислительному эксперименту не существует.

В большой совокупности целевых рынков, образующих современную экономику, рынок труда занимает особое место, поскольку задействует и во многом воспроизводит человеческий капитал, который по известным причинам отличается от всех остальных видов экономических ресурсов. Исследованию рынка труда и человеческого капитала посвящено огромное количество работ.

Моделированию и исследованию устойчивости рынка труда в настоящее время в приведенном списке отводится довольно скромное место. Методологический подход к моделированию рынка труда, позволяющий эффективно решать задачи его устойчивости, заложен в работе А.Н. Васильева, где представлена одноотраслевая экономика. Модель А.Н. Васильева была записана для нескольких отраслей Е.А. Семенчиным и И.В. Зайцевой, а в работах проанализирована ее устойчивость и смоделирована работа биржи труда. Однако отсутствие предложений по сегментированию рынка труда по возрастным и образовательным группам исключает практическое применение модели для решения задач устойчивости, сохраняя теоретическую актуальность разработанного синергетического подхода к его моделированию.

Устойчивость рынка исследовалась в упомянутых работах по критерию Рауса-Гурвица. При этом в стороне остались вопросы запаса устойчивости и параметрической устойчивости, что является актуальным в условиях формирования расчетной модели по статистическим данным, содержащим, как известно, ошибку. Не рассматривались также задачи управления устойчивостью функционирования рынка. Совокупность неисследованных моментов определяет актуальность темы

ОБЪЕКТ
ИССЛЕДОВАНИЯ
КРИТЕРИИ

диссертационной работы.

Степень изученности проблемы. Вопросами исследования рынков и рыночных конъюнктур и устойчивости в экономике в целом занимаются все имеющиеся в стране научно-исследовательские институты федерального и регионального значения (ВНИИЭ, ЦЭМИ, и другие), коммерческие аналитические организации, такие как «Росбизнесконсалтинг», «Бизнес аналитика» и другие. Этим же проблемам уделяется первостепенное значение в экономических вузах, на факультетах, и кафедрах. Если в советский исторический период плановая экономика СССР автоматически считалась абсолютно устойчивой, то в настоящее время российская экономическая мысль (в последние пятнадцать лет) достаточно быстрыми темпами сокращает свое отставание от западной в области анализа и синтеза устойчивости развития экономических систем. Обращаясь к перечню имен ученых, посвятивших свои труды проблемам устойчивости функционирования экономических систем и целевых рынков, отметим, что он включает всех без исключения лауреатов Нобелевской премии в области экономики. Фундаментальные результаты по проблемам человеческого капитала вообще и рынка труда в частности получены С.Г. Струмилиным, Г. Беккером, К. Макконеллом, С. Брю, З.Н. Босчаевой, Л.И. Ниворожкиной, Е.М. Ниворожкиным, А.Г. Шухминим, Я.Т. Васильевым, И.Д. Коротцом, Ф.Т. Прокоповым, Л.Е. Юферевой, Г.Х. Поповым и другими учеными.

Вопросам устойчивости рынка труда в рамках обсуждаемой в диссертации модели посвящены труды А.Н. Васильева, Е.А. Семенчина, И.В. Зайцевой. В их работах показано, что задачи устойчивости рынка наиболее удобно решать в рамках предложенной и апробированной ими модели его самоорганизации – свойства, которым обладают многие стороны деятельности человеческого общества, и, естественно, его экономической жизни.

Цель и задачи исследования. Целью настоящей диссертационной работы является разработка экономико-математических методов анализа статической устойчивости и синтеза высокого качества переходных процессов на региональном рынке труда, представленном моделью самоорганизации А.Н. Васильева.

Для достижения цели исследования были поставлены и решены следующие научно-экономические задачи:

- формирование на базе методического подхода к моделированию рынка труда, предложенного А.Н. Васильевым, его практической модели, учитывающей возрастную и образовательный ценз трудовых ресурсов;
- определение математического аппарата для анализа динамических свойств, статической и параметрической устойчивости

рынка труда;

- разработка алгоритма оптимизации динамических свойств рынка труда и вспомогательного критерия качества переходных процессов для работы в составе этого алгоритма;

- разработка методики избирательного управления составляющими движения рынка труда.

Предмет и объект исследования. Предметом диссертационного исследования были избраны теоретические, методические и практические проблемы математического моделирования динамики рынка труда, анализа и управления его устойчивостью.

В качестве **объекта** исследования выступает рынок труда Ставропольского края и процессы самоорганизации его функционирования.

Теоретическая и эмпирическая база исследования. Диссертационное исследование основано на фундаментальных научных трудах зарубежных и отечественных ученых-экономистов по проблемам человеческого капитала, самоорганизации рынка труда и его устойчивости. Методы исследования устойчивости и собственных (т.е. внутренних) динамических свойств рынка труда базируются на принципах теории систем и системного анализа, аппарате линейной алгебры, теории дифференциальных уравнений и прикладного нелинейного программирования – раздела исследования операций.

Информационно-статистической базой исследования послужили материалы территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Ставропольскому краю по вопросам труда и занятости в регионе.

Научная новизна диссертационной работы заключается в комплексном, системном подходе к исследованию вопросов устойчивости рынка труда, который представлен моделью самоорганизации и виде системы дифференциальных уравнений. Конкретные положения научной новизны можно сформулировать следующим образом:

- предложен методический подход и математический аппарат для анализа динамических свойств рынка труда на базе модели его самоорганизации;

- разработан алгоритм и математический аппарат для решения задач управления устойчивостью и динамическими свойствами рынка труда, включая процедуру формирования целевой функции при многопараметрической оптимизации для нескольких режимов функционирования рынка труда, что позволяет получать решения для нестационарных моделей и контролировать параметрическую устойчивость;

- решена задача прямого управления корнями характеристического уравнения матрицы состояния модели самоорганизации рынка труда на базе сингулярного разложения матрицы коэффициентов чувствительности изменения вещественных частей этих корней от параметров регулирования;

- предложена методика избирательного (модального) управления составляющими движения рынка труда и синтезирован сигнал избирательного управления.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в том, что предложенные теоретические, методические и алгоритмические подходы, впервые нашли применение для исследования переходных процессов и устойчивости рынка труда и позволяют эффективно организовать управление ими при учете ограничений, накладываемых на варьируемые параметры, обеспечивая контроль параметрической устойчивости.

Практическое значение работы определяется тем, что результаты исследования рынка, выработанные методические и практические рекомендации могут быть использованы при планировании (в том числе и индикативном) и прогнозировании развития рынка труда и занятости населения, а также при разработке мероприятий по повышению его устойчивости.

Результаты исследования внедрены в деятельность службы занятости Ставропольского края, а также используются в учебном процессе Ставропольского государственного университета на кафедре «Информационные системы экономики» при проведении занятий по курсу «Имитационное моделирование экономических процессов».

Теоретическая и практическая значимость исследования подтверждается грантом Российского гуманитарного научного фонда «Методы анализа и синтеза статической устойчивости рынка труда», проект № 08-02-00245а.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационного исследования, ее концептуальные положения получили апробацию на региональных и международных научно-практических конференциях по экономике.

Научно-методические положения диссертации докладывались на заседаниях кафедры информационных систем в экономике СГУ, обсуждались в рамках научно-технических конференций по результатам научно-исследовательской работы профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов СГУ в 2007-2008 гг.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано семь научных работ общим объемом 3,4 печатных листа.

Структура диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы, содержащего 126 наименований. Основная часть работы изложена на 151 странице машинописного текста, содержит 15 таблиц и 16 рисунков.

Во введении показана актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, приведены научная новизна, практическая значимость и степень апробации полученных результатов, а также краткое содержание глав работы.

В первой главе рассмотрены условия и особенности формирования человеческого капитала как источника качества трудовых ресурсов – товара на рынке труда, а также классические методы моделирования и исследования рынка труда, носящие, как правило, чисто качественный, объясняющий характер. Глава завершается рассмотрением модели самоорганизации рынка труда в отдельной отрасли, имеющей большое теоретическое значение и являющейся одной из первых работ по исследованию данного рынка на основе использования идей синергетики. Такая модель позволяет, замкнувшись в рамках одной отрасли, что само по себе, конечно, идеализация, оценить эффективность регулирования рынка и спрогнозировать его поведение.

Вторая глава посвящена разработке многоотраслевой математической модели рынка труда, носящей прикладной характер, развивая синергетический подход к моделированию. В ней поставлена и решена задача параметрической устойчивости модели, что особенно актуально для моделей социально-экономических систем, которые при проведении расчетных исследований используют статистические данные, содержащие ошибку, а то и вовсе опираются на экспертные оценки. В главе проанализированы возможные подходы к анализу устойчивости рынка труда и указан лучший из них, предложен математический аппарат для анализа собственных динамических свойств рынка труда и рассмотрен конкретный пример такого анализа.

Третья глава посвящена проблемам управления динамическими свойствами рынка труда. В ней представлен алгоритм такого управления и рассмотрены реализующие его блоки. Обоснованы методы минимизации, включенные в состав алгоритма. Далее изложены требования, предъявляемые к минимизируемой функции, предложена сама функция, исследованы ее свойства и влияние ее параметров на результат оптимизации. Подчеркнуты достоинства рекомендованной целевой функции перед другими возможными для использования. Целевая функция обобщена на решение задачи параметрической устойчивости рынка труда. Далее предложены и обоснованы методы оптимизации, не включенные во вторую главу. Среди них – метод прямого управления корнями характеристического уравнения, построенный на основе

сингулярного разложения матрицы уравнений линейного прогноза из изменения от варьируемых параметров, а также метод избирательного управления корнями при отсутствии влияния управления на другие. В заключение представлен метод упрощения сигнала модального управления, когда при его формировании сокращается вектор измеряемых переменных состояния, что особенно важно в социально-экономических системах.

Продемонстрирована работоспособность всех предложенных методов и процедур.

Заключение содержит основные научные выводы и рекомендации по работе.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Для того чтобы модели рынка труда, предложенной для одной отрасли А.Н. Васильевым, а затем развитой Е.А. Семенчиным и И.В. Зайцевой для нескольких отраслей, придать практический характер, она должна учитывать половозрастную и образовательную структуру трудовых ресурсов каждой отрасли. Высказанное соображение привело нас к формированию следующей модели:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dN_1^{(1Xl)}(t)}{dt} &= -N_1^{(1Xl)}(t)W^{(1Xl)} + \sum_{i=1}^n N_2^{(i)}(t)W^{(1,1Xl)}, \\ \frac{dN_1^{(2Xl)}(t)}{dt} &= -N_1^{(2Xl)}(t)W^{(2Xl)} + \sum_{i=1}^n N_2^{(iXl)}(t)W^{(i,2Xl)}, \\ &\dots\dots\dots, \\ \frac{dN_1^{(nXl)}(t)}{dt} &= -N_1^{(nXl)}(t)W^{(nXl)} + \sum_{i=1}^n N_2^{(iXl)}(t)W^{(i,nXl)}, \\ \frac{dN_2^{(1Xl)}(t)}{dt} &= \sum_{i=1}^n N_1^{(iXl)}(t)W^{(iXl)} - N_2^{(1Xl)}(t) \sum_{i=1}^n W^{(1,iXl)}, \\ \frac{dN_2^{(2Xl)}(t)}{dt} &= \sum_{i=1}^n N_1^{(iXl)}(t)W^{(iXl)} - N_2^{(2Xl)}(t) \sum_{i=1}^n W^{(2,iXl)}, \\ &\dots\dots\dots, \\ \frac{dN_2^{(nXl)}(t)}{dt} &= \sum_{i=1}^n N_1^{(iXl)}(t)W^{(iXl)} - N_2^{(nXl)}(t) \sum_{i=1}^n W^{(n,iXl)}. \end{aligned} \right. \quad (1)$$

В модели (1) приняты следующие обозначения: $N_i^{(00)}(t)$ – часть специалистов, занятых в i -й отрасли, которые по возрастному и

образовательному цензу соответствуют уровню с номером l ; $N_2^{(iXl)}(t)$ – часть трудовых ресурсов уровня l , которые могут использоваться в i -й отрасли, но в данное время безработны; $W^{(i,jXl)}$ – вероятность того, что безработный специалист j -й отрасли уровня l найдет работу в отрасли i в интервале времени $(t; t + \Delta t)$; $W^{(iXl)}$ – вероятность увольнения работника того же уровня отрасли с номером i в то же время. Уровни – это номера квадратов табл. 1.

Таблица 1 – Возрастная и образовательная структура рынка труда одной отрасли

-	1)В.п.о., 20-24 года	2)В.п.о., 25-29 лет	3)В.п.о., 30-49 лет	4)В.п.о., 50-54 года	5)В.п.о., 55-59 лет	6)В.п.о., 60-72 года
7)Н.в.о., 15-19 лет	8)Н.в.о., 20-24 года	9)Н.в.о., 25-29 лет	10)Н.в.о., 30-49 лет	11)Н.в.о., 50-54 года	12)Н.в.о., 55-59 лет	13)Н.в.о., 60-72 года
14)С.п.о., 15-19 лет	15)С.п.о., 20-24 года	16)С.п.о., 25-29 лет	17)С.п.о., 30-49 лет	18)С.п.о., 50-54 года	19)С.п.о., 55-59 лет	20)С.п.о., 60-72 года
21)П.о., 15-19 лет	22)П.о., 20-24 года	23)П.о., 25-29 лет	24)П.о., 30-49 лет	25)П.о., 50-54 года	26)П.о., 55-59 лет	27)П.о., 60-72 года
28)О.о., 15-19 лет	29)О.о., 20-24 года	30)О.о., 25-29 лет	31)О.о., 30-49 лет	32)О.о., 50-54 года	33)О.о., 55-59 лет	34)О.о., 60-72 года
35)Н.о., 15-19 лет	36)Н.о., 20-24 года	37)Н.о., 25-29 лет	38)Н.о., 30-49 лет	39)Н.о., 50-54 года	40)Н.о., 55-59 лет	41)Н.о., 60-72 года

В таблице применены следующие обозначения: В.п.о. – высшее профессиональное образование, Н.в.о. – неоконченное высшее образование, С.п.о. – среднее профессиональное образование, П.о. – полное общее образование, О.о. – основное общее образование, Н.о. – не имеет основного общего образования. Таким образом, чтобы более точно описать рынок труда, необходимо, как минимум, записать столько систем вида (1), сколько клеток представлено в табл. 1 за минусом верхней левой, то есть 41 систему, таким образом в представленной детализации рынок содержит 41 сегмент. А если разделить мужчин и женщин, то число систем удвоится. Тогда вводятся частичные емкости рынка рабочей силы, то есть емкости для каждой клетки табл. 1 в отдельности. Полная емкость рынка будет равна сумме частичных емкостей.

Система (1) линейна, представлена в нормальной форме Коши, и

для одной клетки табл.1 в матричном виде записывается как

$$\dot{N}(t) = WN(t). \quad (2)$$

Это сводит задачу анализа ее устойчивости к расчету спектра собственных значений матрицы состояния W . Однако сказанное не делает решение задачи статической устойчивости рынка труда тривиальным, хотя бы в свете того, что за скобками остается вопрос его параметрической устойчивости. Нам следует обратить внимание на то, что коэффициенты систем вида (2) только условно остаются постоянными. Даже в краткосрочном периоде времени вероятности, входящие в эти системы испытывают малые флуктуационные отклонения от сообщаемых службой занятости номинальных значений. Таким образом, нам важно, чтобы рынок труда не просто сохранял устойчивость своего некоторого состояния, а обладал бы устойчивостью функционирования, то есть устойчивостью при вариации параметров – вероятностей трудоустроиться или потерять работу.

Возмущения, которые при исследовании параметрической устойчивости следует вносить в систему, отражают неточность оценки указанных вероятностей, а также их неизбежный дрейф во времени. Оценивать следует, конечно же, относительные изменения вероятностей – коэффициентов системы (2). Абсолютные значения варьировать не следует, то есть нашем случае нуль в матрице сегмента рынка труда не варьируется, и нашему определению вариации этот случай не удовлетворяет.

$$W = \begin{pmatrix} -W^{(1)} & 0 & \dots & 0 & W^{(1,1)} & W^{(2,1)} & \dots & W^{(n,1)} \\ 0 & -W^{(2)} & \dots & 0 & W^{(1,2)} & W^{(2,2)} & \dots & W^{(n,2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & -W^{(n)} & W^{(1,n)} & W^{(2,n)} & \dots & W^{(n,n)} \\ W^{(1)} & W^{(2)} & \dots & W^{(n)} & (-W^{(1,1)} - \dots - W^{(1,n)}) & 0 & \dots & 0 \\ W^{(1)} & W^{(2)} & \dots & W^{(n)} & 0 & (-W^{(2,1)} - \dots - W^{(2,n)}) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ W^{(1)} & W^{(2)} & \dots & W^{(n)} & 0 & 0 & \dots & (-W^{(n,1)} - \dots - W^{(n,n)}) \end{pmatrix} \quad (3)$$

Поскольку как статистические ошибки, так и вариации параметров обсуждаемых систем, их малый дрейф неизбежны, то систему устойчивую, но теряющую устойчивость при малых вариациях параметров, по-настоящему устойчивой считать нельзя. Таким образом, существование функции Ляпунова (или отрицательные действительные части корней характеристического уравнения) не гарантирует сохранения

устойчивости модели рынка труда при малых вариациях его параметров. При этом никакое исследование матрицы коэффициентов систем (1)-(2) не может дать надежного ответа на вопрос о сохранении устойчивости. Существуют системы с одним и тем же характеристическим полиномом, одной и той же матрицей коэффициентов при записи в форме Коши, с одной и той же функцией Ляпунова, но различающиеся по свойству сохранения устойчивости при вариациях параметров. Сказанное не противоречит теории и теоремам Ляпунова, однако ограничивает практическое применение первого и второго методов Ляпунова. Острота проблемы параметрической устойчивости, на наш взгляд, заключается в силе чувствительности вещественных частей корней характеристического уравнения к вариации параметров системы. Чем выше чувствительность, тем выше и вероятность утраты устойчивости. Очевидно для того, чтобы теория устойчивости давала правильные ответы на практически важные вопросы о ее сохранении, необходимы некоторые дополнительные исследования и расчеты. Так, при решении задач устойчивости функционирования и управляемости динамическими свойствами исследуемого рынка важное значение приобретает зависимость собственных чисел λ_i от различных вероятностей $W^{(i)}$ и $W^{(i,j)}$ матрицы (3). Она характеризуется функцией чувствительности λ_i от $W^{(i)}$ и $W^{(i,j)}$, которая может быть выражена через собственные векторы U_i и V_i матрицы W и W^T системы (2), где T – знак транспонирования. Известные алгебраические преобразования позволяют для компонент вектора трудовых ресурсов $N(t)$ получить выражение

$$n^{(k)}(t) = \sum_{i=1}^m c_i e^{\lambda_i t} u_i^{(k)}, \quad k = \overline{1, m}, \quad (4)$$

где $u_i^{(k)}$ – компоненты с номером k собственного вектора U_i , m – размерность матрицы (3), $c_i = V_i^T N_0$ определяется вектором начальных значений занятости N_0 и собственными векторами V_i транспонированной матрицы состояния (3).

Формула (2.21) позволяет сделать выводы о наблюдаемости отдельных составляющих движения $e^{\lambda_i t}$ в $n^{(k)}(t)$. Например, если компонента $u_i^{(k)} = 0$, то составляющая $e^{\lambda_i t}$ вообще не наблюдается в $n^{(k)}(t)$ – в динамике занятости в k -й отрасли. Для ненулевых $u_i^{(k)}$ частное

$$\delta_i^{(j,k)} = \frac{|u_i^{(j)}|}{|u_i^{(k)}|} \quad (5)$$

определяет, во сколько раз составляющая движения, определяемая

экспонентой $e^{\lambda t}$ заметнее в отрасли l по сравнению с отраслью с номером k . Крайне существенно, что соотношение амплитуд (5) не зависит от начальных условий, определяется только вектором U_i и является внутренним свойством системы (2). Это позволяет ставить задачу исследования «собственных динамических свойств» рынка труда. Соотношение (5) позволяет оценить системные свойства составляющей $e^{\lambda t}$ в зависимости от того, в каком числе отраслей хозяйства они проявляются заметным образом. Задавая некоторое пороговое значение $\delta_0 < 1$ для частных $\delta_i^{(l,k)}$ и полагая, что $u_i^{(k)}$ - максимальная по модулю компонента вектора U_i из заданного числа сравниваемых, определим, что если количество частных (5), удовлетворяющих неравенству

$$|\delta_i^{(l,k)}| > \delta_0 \quad (6)$$

невелико, то составляющая $e^{\lambda t}$ носит в динамике рынка локальный характер. С ростом количества $\delta_i^{(l,k)}$, удовлетворяющих неравенству (6), системный характер экспоненты $e^{\lambda t}$ и ее значимость для исследуемого рынка в целом возрастают.

Можно выделить подвектор отраслей N размерностью $q < m$, содержащий анализируемую составляющую движения. Аналогичное выделение выполняется для собственного вектора. Тогда наблюдаемость составляющей движения $e^{\lambda t}$ в векторе занятости $\pi^{(k)}$ отрасли с номером k вычисляется по следующему выражению

$$\frac{\tilde{u}_i^{(k)}}{\tilde{u}_i^{(s)}} = \delta_i^{(k)} e^{j\varphi_k}, \quad j = \sqrt{-1}, \quad (7)$$

где $u_i^{(s)} = \max(u_i^{(j)}), j = \overline{1, q}$ - максимальная компонента собственного вектора.

Абсолютные значения частных (7) образуют вектор коэффициентов наблюдаемости

$$\Delta_i = (\delta_i^{(1)}, \delta_i^{(2)}, \dots, \delta_i^{(q)})^T,$$

в котором максимальная компонента $\delta_i^{(s)}$ имеет значение, равное 1. Значения амплитуд данной составляющей в других отраслях N относительно максимальной определяются соответствующими компонентами вектора Δ_i .

Фазовые составляющие частных (2.24) образуют вектор фаз

$$\Phi_i = (\varphi_i^{(1)}, \varphi_i^{(2)}, \dots, \varphi_i^{(q)})^T,$$

с которыми форма движения $e^{\lambda t}$ наблюдается в переменных N . Здесь в качестве точки отсчета выступает фаза переменной $\pi^{(s)}$.

Вектор Φ_i дает информацию о фазах движения и позволяет указать

характер образования синфазно или противофазно движущейся занятости в группах отраслей. При этом максимальные амплитуды качаний будут иметь место в тех межотраслевых связях, которые попадут в «сечения» между противофазно функционирующими группами отраслей народного хозяйства.

Для оценки системных свойств составляющей e^{A_t} наряду с коэффициентами наблюдаемости можно предложить для использования и другую численную характеристику, которая называется показателем наблюдаемости η_i . Определяется она ее следующим образом:

$$\eta_i = \frac{n_i}{n} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где n - полное число отраслей экономики в рассматриваемой модели, n_i - число отраслей, удовлетворяющих условию

$$\delta_i^{(j)} > \delta_0, \quad j = 1, q$$

для некоторого фиксированного δ_0 ($0 < \delta_0 < 1$). Экономический смысл показателя наблюдаемости очевиден — это доля отраслей народного хозяйства от их общего числа в динамической модели рынка труда, которые участвуют в составляющей e^{A_t} с относительной амплитудой, превышающей δ_0 .

Чувствительность собственных значений к вариации элементов матрицы определяется по выражению

$$\frac{\partial \lambda_i}{\partial k_j} = \frac{V_i^T \frac{\partial W}{\partial k_j} U_i}{V_i^T U_i}. \quad (9)$$

Связь между коэффициентами чувствительности λ_i от k_j и собственными векторами U_i и V_i в частном случае, когда в роли k_j выступает элемент матрицы W и векторы нормированы на единицу, принимает еще более простой вид

$$\frac{\partial \lambda_i}{\partial w_{kj}} = v_i^{(k)} u_i^{(j)}. \quad (10)$$

Формулы (9), (10) можно успешно использовать для анализа динамики экономических систем и возможностей по управлению ею. В качестве k_j могут быть выбраны те или иные коэффициенты матрицы W , поэтому в нашем рассмотрении практическое значение имеет формула (10). При этом вариация индекса i позволяет выяснить характер воздействия данного k_j на различные λ_i при постоянном j . В этом случае наличие соизмеримых, но противоположных по знаку величин $\partial \lambda_i / \partial k_j$ означает встречное движение корней в комплексной плоскости при изменении k_j .

В качестве расчетной модели нами была принята 21-отраслевая модель рынка труда Ставропольского края, которую можно подготовить по данным Крайстата. В расчетном примере мы работали с возрастной группой от 30 до 49 лет как с самой многочисленной и экономически активной. Зная распределение численности занятого населения по отраслям экономики (из Статсборников «Труд и занятость в Ставропольском крае»), а также аналогичное распределение безработных и данные о текучести кадров, можно определить интересующие нас вероятности увольнения и приема на работу, входящие в систему уравнений (2). Таблица 2 содержит исходные собственные числа системы.

Таблица 2 – Исходные собственные значения матрицы W

№	$\eta_i, \%$ (округлены до целых)	λ_i	№	$\eta_i, \%$ (округлены до целых)	λ_i
1	3	+0,02	17,18	16	-0,00 \pm i0,04
2	2	-0,14	19,20	14	-0,08 \pm i0,11
3	8	-0,94	21,22	4	-0,15 \pm i0,16
4	11	-1,00	23,24	9	-0,15 \pm i0,18
5	2	-1,11	25,26	11	-0,18 \pm i0,22
6	9	-1,21	27,28	15	-0,20 \pm i0,27
7	7	-1,23	29,30	2	-0,24 \pm i0,31
8	2	-2,16	31,32	7	-0,29 \pm i0,57
9	2	-3,68	33,34	10	-0,33 \pm i0,79
10	13	-9,57	35,36	6	-0,46 \pm i0,88
11,12	4	+0,11 \pm i0,36	37,38	17	-0,58 \pm i0,95
13,14	6	+0,09 \pm i0,29	39,40	14	-0,93 \pm i1,11
15,16	4	+0,01 \pm i0,23	41,42	19	-2,48 \pm i1,37

Простой взгляд на таблицу позволяет сделать вывод о колебательной (пары под номерами 11,12; 13,14; 15,16) и апериодической (корень номер 1) неустойчивости рынка труда. Здесь можно выделить корни, определяющие качество переходных процессов в системе, корни с большими коэффициентами чувствительности (доминирующие), корни с большой чувствительностью, которые могут стать доминирующими при вариации вероятностей в матрице W , и корни с большими по модулю отрицательными вещественными частями и слабой зависимостью от варьируемых вероятностей.

Корни первой и второй групп с их коэффициентами чувствительности представлены в табл.3.

Таблица 3 – Доминирующие и наиболее управляемые корни характеристического уравнения и их коэффициенты чувствительности

№ (по Таблице 2)	λ_i	$\operatorname{Re}\left(\frac{\partial \lambda_i}{\partial w_{1,1}}\right)$	$\operatorname{Re}\left(\frac{\partial \lambda_i}{\partial w_{13,15}}\right)$	$\operatorname{Re}\left(\frac{\partial \lambda_i}{\partial w_{13,13}}\right)$
1	+0,02	0,413	0,078	1,940
11,12	+0,11±i0,36	1,411	0,206	0,136
13,14	+0,09±i0,29	-2,211	0,129	1,194
15,16	+0,01±i0,23	-0,648	1,142	-0,154
17,18	-0,00±i0,04	1,873	-2,049	-3,154
19,20	-0,08±i0,11	0,815	2,223	0,563
25,26	-0,18±i0,22	3,113	0,946	3,165
33,34	-0,33±i0,79	4,842	0,439	-2,904

Как следует из данных табл. 3, неуправляемых составляющих движения на региональном рынке труда нет. Вместе с тем, при вариации отображенных в таблице параметров в целом ряде случаев имеет место разнонаправленное движение вещественных частей корней на комплексной плоскости. Поэтому, например, при вариации $w_{1,1}$ улучшение расположения пар с номерами 13,14 и 15,16 сопровождается ухудшением расположения всех остальных корней и наоборот.

Для анализа параметрической устойчивости модели рынка труда элементы матрицы W варьировались в пределах до $\pm 20\%$ своей первоначальной величины (данные табл.4). Сказанное выше приводит к необходимости постановки и решения задачи управления динамическими свойствами рынка труда для обеспечения устойчивости его функционирования в требуемом диапазоне изменения параметров модели, что требует выбора вектора «настраиваемых» параметров модели по коэффициентам чувствительности. При этом в качестве вспомогательной целевой функции можно предложить следующую, обладающую необходимыми для минимизации свойствами непрерывности и дифференцируемости:

$$F = \sum_{\alpha_i < \alpha_0} (\alpha_0 - \alpha_i)^{\nu}, \quad (11)$$

где α_0 – заданная величина показателя качества переходных процессов – степени устойчивости – характеристика желаемых динамических свойств рынка труда; α_i – вещественные части корней характеристического уравнения матрицы W , взятые с обратным знаком; ν – параметр ($\nu=2,3,4,\dots$).

Цель оптимизации в смещении этих корней в комплексной плоскости в направлении уменьшения разности между α_0 и α_i .

Таблица 4 – Собственные значения при вариации значений элементов матрицы W

№ (по табл. 1)	λ_i , исх.	λ_i (вар. $W_{ij} \pm 10\%$)	λ_i (вар. $W_{ij} \pm 20\%$)
1	+0,02	+0,03	-0,04
2	-0,14	-0,14	-0,02
3	-0,94	-1,22	-0,83
4	-1,00	-0,76	-0,49
5	-1,11	-1,18	-0,56
6	-1,21	-1,45	-1,60
7	-1,23	-0,99	-0,82
8	-2,16	-2,16	-2,17
9	-3,68	-3,51	-3,61
10	-9,57	-9,57	-9,58
11,12	+0,11 \pm i0,36	-0,11; -0,18	-0,01; -0,07
13,14	+0,09 \pm i0,29	+0,06 \pm i0,29	+0,10 \pm i0,27
15,16	+0,01 \pm i0,23	+0,06; -0,14	+0,01; -0,20
17,18	-0,00 \pm i0,04	-0,04 \pm i0,16	-0,06 \pm i0,16
19,20	-0,08 \pm i0,11	-0,07; -0,08	-0,08; -0,11
21,22	-0,15 \pm i0,16	-0,11 \pm i0,16	-0,15 \pm i0,16
23,24	-0,15 \pm i0,18	-0,09 \pm i0,20	-0,09 \pm i0,22
25,26	-0,18 \pm i0,22	-0,17 \pm i0,22	-0,18 \pm i0,22
27,28	-0,20 \pm i0,27	-0,22 \pm i0,30	-0,23 \pm i0,30
29,30	-0,24 \pm i0,31	-0,22 \pm i0,31	-0,22 \pm i0,31
31,32	-0,29 \pm i0,57	-0,27 \pm i0,57	-0,30 \pm i0,57
33,34	-0,33 \pm i0,79	-0,31 \pm i0,80	-0,32 \pm i0,81
35,36	-0,46 \pm i0,88	-0,50 \pm i0,90	-0,42 \pm i0,85
37,38	-0,58 \pm i0,95	-0,57 \pm i0,95	-0,58 \pm i0,95
39,40	-0,93 \pm i1,11	-0,90 \pm i1,10	-0,81 \pm i1,53
41,42	-2,48 \pm i1,37	-3,01 \pm i1,35	-2,59 \pm i1,36

Табл.5 содержит результат оптимизации расположения на комплексной плоскости исходных корней по 10-ти параметрам. Анализ третьего и четвертого столбцов табл.5 позволяет видеть, что рынок можно привести к устойчивому состоянию, однако «далеко» от границы устойчивости отступить не удастся, сохраняется угроза утраты параметрической устойчивости.

Оптимизационные задачи для нестационарных моделей рынка труда, а также для моделей в условиях неопределенности их параметров, возможно решать рассматривая одновременно некоторую совокупность режимов его работы, что формализуется набором матриц W_i , где i – номер режима.

Таблица 5 – Собственные числа исходной и оптимизированной системы
при различных значениях α_0

№ (по Таблице 1)	λ_i (исходные)	λ_i при $\alpha_0 = 0,5$	λ_i при $\alpha_0 = 1,0$
1	-0,11	-0,12	-0,17
11,12	$+0,11 \pm i0,36$	$-0,23 \pm i0,38$	$-0,24 \pm i0,38$
13,14	$+0,09 \pm i0,29$	$-0,09 \pm i0,30$	$-0,02 \pm i0,29$
15,16	$+0,01 \pm i0,23$	$-0,13 \pm i0,23$	$-0,07 \pm i0,23$
17,18	$-0,00 \pm i0,04$	-0,35; -0,22	-0,36; -0,29
19,20	$-0,08 \pm i0,11$	$-0,42 \pm i0,15$	$-0,56 \pm i0,12$
25,26	$-0,18 \pm i0,22$	$-0,45 \pm i0,24$	$-0,72 \pm i0,27$
33,34	$-0,33 \pm i0,79$	$-0,50 \pm i0,86$	$-0,72 \pm i0,68$

При этом обобщенная функция качества F формируется как сумма критериев $F^{(k)}$ для каждого из анализируемых режимов:

$$F = F^{(1)} + F^{(k)} + \dots + F^{(n)} = \sum_{k=1}^n F^{(k)}, \text{ где } F^{(k)} = \sum_{\alpha_i^{(k)} < \alpha_0^{(k)}} (\alpha_0^{(k)} - \alpha_i^{(k)})^r \quad (12)$$

где $F^{(k)}$ – функция качества для k -го режима; $\alpha_0^{(k)}$ – параметр, выделяющий группу доминирующих корней k -го режима; $\alpha_i^{(k)}$ – вещественные части корней для k -го режима, взятые с обратным знаком; n – количество рассматриваемых режимов.

Укрупненно схема алгоритма минимизации представлена на рис.1.

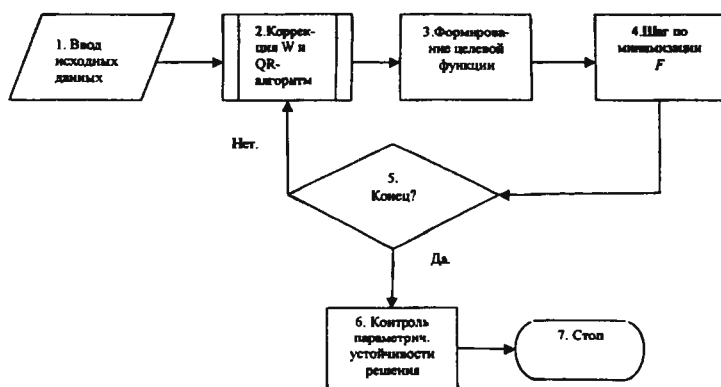


Рис. 1 – Укрупненная схема алгоритма оптимизации динамических свойств рынка труда

Процесс оптимизации начинается с того, что в блоке 1 задаются исходные значения элементов матрицы W (или набора матриц), а также адреса тех из них, которые подлежат варьированию. Матрица передается в блок 2, где вычисляются ее собственные числа с помощью QR-алгоритма. На их основе в блоке 3 определяется численное значение вспомогательной функции качества переходных процессов на рынке труда. В блоке 4 реализованы необходимые алгоритмы численного поиска, которые определяют стратегию изменения варьируемых параметров в направлении минимизации вспомогательной целевой функции. При этом в качестве критерия качества переходных процессов выступает степень устойчивости системы. В ходе работы блока 4 корректируется матрица состояния системы.

Логический блок 5 решает вопрос об остановке процесса оптимизации, которая происходит при достижении требуемой степени устойчивости или в случае невозможности дальнейшей сходимости процесса.

Для минимизации в составе совокупности методов типа покоординатного и градиентного спуска нами реализован метод прямого управления характеристическими корнями, основанный на сингулярном разложении матрицы уравнений прогноза их изменения, линейно связывающей изменения значений вектора $\Delta\alpha$ с вариациями вектора приращения варьируемых параметров ΔW :

$$D \cdot \Delta W = \Delta\alpha, \quad (13)$$

где D – матрица чувствительностей, элементами которой являются коэффициенты чувствительности $\partial\alpha_i/\partial w_j$, вещественных частей собственных значений к варьируемым параметрам w_j ; $\Delta W = (\Delta w_1, \Delta w_2, \dots, \Delta w_n)^T$; $\Delta\alpha = \alpha - \alpha^*$.

Результат работы метода прямого управления корнями представлен в табл.6.

При представлении модели в виде

$$\frac{dN(t)}{dt} = WN(t) + bc, \quad (14)$$

где $N(t) \in R^n$ – вектор переменных состояния, c – скалярный сигнал управления, b – постоянный вектор, определяющий точку приложения этого сигнала,

возможна реализация модального (избирательного) управления отдельными составляющими движения рынка. Управление одной модой, например корнем λ_1 , достигается выбором сигнала управления в виде

$$c = k_1 V_1^T N$$

где k_1 – постоянный коэффициент, что приводит матрицу системы (2) к

виду:

$$G = W + k_1 b V_1^T, \quad (15)$$

а саму систему к виду:

$$\frac{d N(t)}{d t} = G N. \quad (16)$$

Таблица 6 – Результат работы метода прямого управления корнями

№ (по Таблице 1)	λ_i , исходные значения	Управляемые корни	Результат управления ($\alpha_0 = 0,7$)
1	+0,02	+	-0,15
11,12	+0,11 ± i0,36	+	-0,21 ± i0,37
13,14	+0,09 ± i0,29	+	-0,04 ± i0,30
15,16	+0,01 ± i0,23	+	-0,11 ± i0,23
17,18	-0,00 ± i0,04	+	-0,30; -0,22
19,20	-0,08 ± i0,11		-0,08 ± i0,11
25,26	-0,18 ± i0,22		-0,18 ± i0,22
33,34	-0,33 ± i0,79		-0,33 ± i0,79

Выражение (15) позволяет непосредственно вычислять «новую» матрицу системы (2) и определять те вероятности, которые обеспечат управление только одним вещественным корнем, определяющим составляющую движения $\exp(\lambda_1 t)$ на каждом шаге итерационного процесса. Эта же составляющая является единственной, наблюдающейся в сигнале управления s . Остальные же собственные числа λ_i^* и векторы U_i^* для любых значений коэффициента k_1 остаются неизменными, такими же, как и у исходной матрицы W , то есть

$$\lambda_i^* = \lambda_i, \quad U_i^* = U_i, \quad i \geq 2.$$

По результатам работы сформулированы следующие выводы и рекомендации.

1. В работе предложен вариант решения важной социально-экономической задачи, связанной с анализом динамических свойств рынка труда и обеспечением его устойчивого функционирования за счет нового методического подхода к управлению, адекватного системным свойствам рынка. Рынок формализуется в виде модели самоорганизации, представляющей собой систему обыкновенных линейных дифференциальных уравнений, записанных в нормальной форме Коши. Решение базируется на предложенном математическом аппарате современной теории систем и системного анализа, используемом для анализа и управления собственными динамическими свойствами, представленными в модели рынка труда, а также методах прикладного

нелинейного программирования, определяющих оптимальные значения выбранной с использованием теории чувствительности совокупности элементов матрицы состояния модели – параметров управления – в том числе в условиях неопределенности режимов функционирования сферы занятости и ее параметров.

2. Разработан методический подход и предложен математический аппарат для анализа собственных динамических свойств рынка труда, основанный на вычислении совокупности показателей, включающей частоты и затухания отдельных составляющих движения, представленных корнями характеристического уравнения матрицы состояния модели, их наблюдаемость, возбуждаемость, управляемость, чувствительность к параметрам управления, а также количественные характеристики перчисленных показателей.

3. Разработан метод поиска единого вектора варьируемых элементов матрицы состояния для совокупности условий и режимов функционирования рынка труда, основанный на численной минимизации вспомогательной функции качества переходных процессов, обладающей необходимыми математическими свойствами непрерывности и дифференцируемости, формируемой по группе корней характеристического уравнения, учитывающей разнообразные ограничения на варьируемые параметры. Эффективность метода оценена на примерах решения задач устойчивости в рамках модели рынка труда Ставропольского края. Существенно, что трудоемкость расчетов лишь линейно зависит от числа рассматриваемых режимов работы рынка. Предложен и более эффективный метод численного поиска оптимальных значений варьируемых параметров, значительно снижающий трудоемкость вычислений по сравнению с традиционными и обеспечивающий устойчивость и приемлемые динамические свойства рынка. Разработаны два алгоритма его реализации — с использованием модификации градиентного метода, а также метода сингулярного разложения матрицы чувствительностей уравнений прогноза, позволяющие полностью формализовать процедуру выбора значений оптимизируемых параметров. Основной эффект достигается за счет построения уравнений прогноза изменения вещественных частей собственных значений матрицы состояния системы при оптимизации варьируемых параметров. Основным преимуществом метода является слабая зависимость числа итераций от количества одновременно оптимизируемых параметров.

4. Предложены критерии качества для алгоритма численного поиска, позволяющие обеспечить заданные или предельно достижимые демпферные свойства системы. Исследовано влияние параметров критерия качества на эффективность процесса численного поиска,

обоснованы рекомендации по выбору их значений. Выполнено обобщение критерия качества для определения оптимального вектора управления для совокупности режимов исследуемого рынка, что позволяет учитывать неопределенность параметров его модели и статистическую ошибку в исходных данных. Таким образом, решается задача параметрической устойчивости модели рынка труда.

5. Показана возможность реализации избирательного управления одной составляющей движения при постоянстве остальных. Получены формулы относительной чувствительности корней характеристического уравнения к компонентам вектора избирательного управления, позволяющие оценить погрешность упрощения сигнала регулирования и выбрать «точку» его подключения к системе.

6. Разработан метод аппроксимации закона избирательного управления, позволяющий резко сократить число измеряемых компонент в сигнале управления с сохранением свойств модальности. Последнее означает управление заданными формами циклических колебаний при относительно малом «побочном» влиянии на остальные. Алгоритм, реализующий метод, носит формализованный характер и позволяет составить ранжированный список измеренных переменных состояния по степени их влияния на свойства модальности. Разработанный метод является основой для создания качественно нового, непротиворечивого управления опасными для устойчивого развития экономики формами движения с использованием минимального объема информации в условиях неопределенности параметров системы.

7. Результаты исследования рекомендуются для использования в деятельности региональных и федеральной служб занятости, а также научно-исследовательскими и правительственными структурами, занимающимися научным анализом и управлением рынка труда.

Основные научные публикации по теме диссертационного исследования:

1. Чистова М.В., Торопцев Е.Л., Гурнович Т.Г. Анализ устойчивости модели рынка труда // Труды Кубанского государственного аграрного университета. - № 8. – 2007. – 0,8 п.л., (в т.ч. авт. – 0,4 п.л.).

2. Чистова М.В., Торопцев Е.Л., Гурнович Т.Г. Расчет собственных значений как вариант оценки динамических свойств модели рынка труда // Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону: Материалы XI региональной научно-технической конференции. – Т.3. – Экономика. – 0,5 п.л., (в т.ч. авт. – 0,4 п.л.).

3. Чистова М.В. Задачи моделирования рынка труда // Вузовская

наука – Северо-Кавказскому региону: Материалы XI региональной научно-технической конференции. – Т.3. – Экономика. – 0,4 п.л.

4. Чистова М.В. Основные результаты анализа модели рынка труда // Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону: Материалы XI региональной научно-технической конференции. – Т.3. – Экономика. – 0,3 п.л.

5. Чистова М.В. Человеческий капитал – источник образования качества товара на рынке труда // Устойчивое развитие региона в условиях экономической интеграции России в мировое хозяйство: Материалы 52-й научно-методической конференции «Университетская наука – региону». – Ставрополь, 2007. – 0,3 п.л.

6. Чистова М.В., Торопцев Е.Л., Гурнович Т.Г. Алгоритм анализа и управления динамическими свойствами рынка труда // Современные финансово-экономические проблемы в условиях глобализации: Сб. трудов по материалам международной НПК. – Ставрополь, 2007. – 0,5 п.л., (в т.ч. авт. – 0,4 п.л.).

7. Чистова М.В., Торопцев Е.Л., Гурнович Т.Г. Современный подход к анализу устойчивости рынка труда // Инфоком-3: Материалы третьей международной научно-технической конференции. – Кисловодск, 2008. – 0,4 п.л., (в т.ч. авт. – 0,2 п.л.).

ЧИСТОВА МАРИНА ВАЛЕРЬЕВНА
АВТОРЕФЕРАТ

Лицензия ЛР № 020412 от 12.02.97

Подписано в печать 13.05.08. Формат 60х84 1/16. Бум. офсетная.
Печ. л. 1,3. Бум. л. 0,65. РТП изд-ва СПбГУЭФ. Тираж 70 экз. Заказ 314

Издательство Санкт-Петербургского государственного университета
экономики и финансов
191023, Санкт-Петербург, Садовая ул., д. 21.

10-2